

URAN OG THORIUM

Mulighederne for forekomster af disse to metaller i Vestgrønland

Af mag. scient. *Henning Sørensen*

I denne artikel vil der blive givet en oversigt over urans og thoriums forekomstmåde i naturen. Til slut vil der blive fremsat nogle bemærkninger om mulighederne for at finde større forekomster af radioaktive mineraler i Grønland.

Uran er et såkaldt *lithofilt* grundstof, hvilket vil sige, at det er knyttet til den aller øverste del af jordskorpen (Lithosfæren), og meget tyder på, at uran er til stede i meget beskeden mængde i jordens indre.

Uran er et ganske udbredt grundstof og findes i ringe mængde i de fleste bjergarter. Granit har således i gennemsnit ca. 3 gram pr. ton, basalt lidt under 1 gram pr. ton. På grund af at det ladede uranatom: uranjonen har temmelig stor radius, kan uran kun sjældent optages i de almindelige bjergartsdannende mineraler, men forekommer i specielle mineraler. I nogle af disse er uran det vigtigste metal, i andre indgår uran som substitut for andre grundstoffer, først og fremmest grundstoffer tilhørende de sjældne jordarters metaller, samt calcium og zirconium. I visse uranholdige bjergarter har det ikke været muligt at finde uranmineraler, hvilket må betyde, at uran også kan være adsorberet til korn af andre mineraler.

Alt i alt kendes lidt over 100 egentlige uranmineraler. Dertil kommer et stort antal mineraler med uran i ringe mængde. Uranmineralerne er sorte, gule, orange eller grønne.

De vigtigste uranmineraler er de sorte uranoxyder: *Uraninit* (UO_2), der indeholder ca. 80 pct. uran, samt *begblende* (U_3O_8). *Uraninit* forekommer i krystaller, hvis struktur imidlertid oftest er ødelagt af den radioaktive stråling fra uranet. *Uranbegblendende* er amorf, begagtig med uregelmæssige former.

En anden vigtig gruppe er de såkaldte *uranglimmere*, *uranokkere* etc., der er forvittringsprodukter af andre uranmineraler. Det er fosforforbindelser som den gule *autunit* og den grønne, kobberholdige *torbernit*, vanadiumforbindelser som det gule *carnotit*, eller siliciumforbindelser som det gule *uranophan*.

Endelig optræder uran sammen med de sjældne jordarters metaller i mange forbindelser af grundstofferne niob og tantal, såsom *fergusonit* ($\text{Y}(\text{Nb}, \text{Ta})\text{O}_4$), *pyrochlore* ($(\text{Ca}, \text{Ce}, \text{U}, \text{Th})(\text{Nb}, \text{Ta}, \text{Ti})_2\text{O}_6$) og *euxenit* ($\text{Y}(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6$).

Det andet vigtige radioaktive grundstof *thorium* er også *lithofilt* og følges i mange tilfælde med uran; det kan da indgå i betydelig mængde i *uraninit*. Desuden forekommer det i mineraler med de sjældne jordarters metaller, samt sammen med zirconium, hafnium og titanium. Eksempler er mineraler som *monazit* (CePO_4) *zircon* (ZrSiO_4), *xenotim* (YPO_4) og *allanit*. Det sidstnævnte er et silikatmineral af kompliceret sammensætning, men med grundstofferne thorium, beryllium og sjældne jordarter. Thorium findes i ringe mængde i de fleste bjergarter, gennemsnitligt i tre gange så stor mængde som uran.

Forekomststyper af uran

Som nævnt findes uran i en række almindelige bjergarter, men i så ringe koncentration, at udnyttelse ikke er mulig. I forskellige bjergartstyper, som vil blive beskrevet i det følgende, kan uran dog forekomme i brydeværdig mængde.

a) MALMGANGE. De vigtigste uranforekomster i verden, nemlig dem i Böhmen, Belgisk Kongo og Canada, findes i en speciel type malmgange (malmgange er sprækkefyldninger i fjeldet).

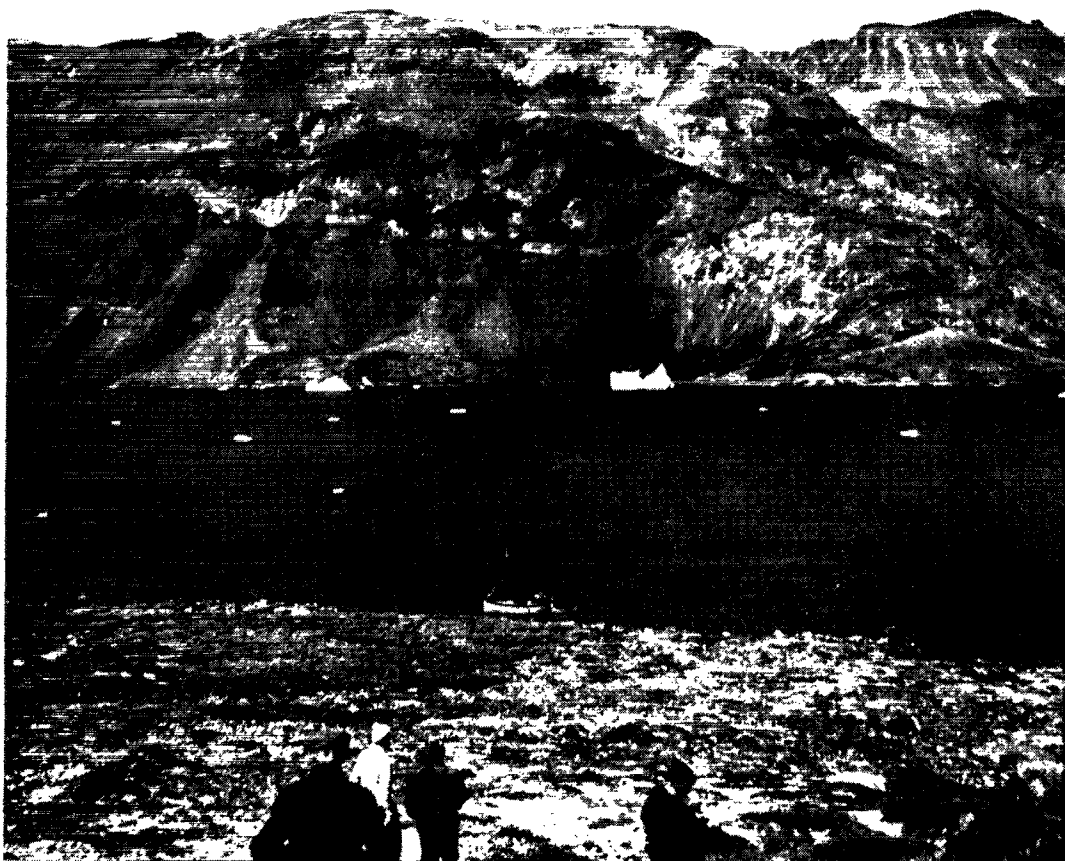
Begblende og *uraninit* (der er meget fattige på thorium) optræder her sammen med svovlforbindelser af nikkel, cobolt, sølv, vismuth og undertiden kobber. Som mellemmasse mellem disse mineraler findes karbonatmineraler, kvarts og flusspat. Alle disse mineraler er afsat på sprækker i fjeldet af nedefra-kommende vandige (såkaldte *hydrothermale*) opløsninger. Afsætningen foregår dels ved kemiske processer, dels ved inddampning, hvorved de i vandet opløste salte udskilles. Malmgangene er dannet ved forholdsvis høj temperatur, og fjeldet op til gangene kan i mange tilfælde være imprægneret med uranmineraler.

Når malmgangene forvitrer, opløses *begblend*en, og i stedet opstår *uranglimmere* samt *uranokkere* (der er lidet veldefinerede uranforbindelser).

Malmgangene i Tjecoslovakiet ved Joachimsthal (Jachymov), i Belgisk Kongo ved Shinkolobwe samt i Canada ved Store Bjørnesø har indtil nu været de vigtigste uranforekomster med stor mængde malm indeholdende mere end 0,5 pct. uran.

b) PEGMATITGANGE. Uranmineraler er ikke ualmindelige på pegmatitgange, hvorved forstås grovkornede bjergarter bestående af kvarts, feldspat og glimmer (disse bjergarter vil blive omtalt i en senere artikel). *Uraninit* og *begblende* (i modsætning til malmgangenes med et betydeligt indhold af thorium) samt de *niob-* og *tantalholdige mineraler* findes her, men i så spredte korn, at brydning kun sjældent er økonomisk.

c) SORTE SKIFRE. Mange sorte skifre har et uranindhold på op til 0,02 pct. uran-oxyd, i Ferghanadalen i U.S.S.R. er der endda målt op til 0,08 pct. Disse skifre er *bituminøse* og består af findelt organisk materiale (*sapropel*). De har stort kulstof-



*Nordkysten af Tunugdliarfik mellem Narssaq og Nunaseruaq.
Fjeldvæggen opbygges af nefelinsyeniter.*

Foto: H. Sørensen

indhold (der kan i mange tilfælde udvindes olie af dem) og ret stor mængde svovl, vanadium og fosfor; svovlet findes ofte som mineralet svovlkis. De er aflejret langsomt under lange geologiske perioder og er sjældent af større mægtighed. De sorte skifre aflejres på steder i havet, hvor cirkulationen er ringe, og hvor vandet er iltfattigt. Uranet tænkes til dels at være udfældet af havvandet af organismer, dels at være adsorberet af lerminerale og af organisk materiale. Visse sorte skifre - f. eks. den svenske alunskifer - har særlig meget uran (op til 0,5 pct.) i små linser, der kaldes kolm.

Kun de marine sorte skifre har større mængde uran; desuden gælder det, at især skifre fra de ældste jordperioder er rige på uran.

Uranholdige skifre findes mange steder på jorden og vil sikkert blive meget vigtige som uranmalme, især hvor der også kan destilleres olie af dem.

I visse områder - f. eks. i Syd Dakota i U. S. A. - findes op til 0,2 pct. uran i kulaflejringer. Desuden kan man finde uran i asfalt og i olieførende aflejringer. En del af dette uran er sikkert transporteret af grundvandet og adsorberet af det organiske materiale.

d) *Fosforit*. I aflejringer, der er dannet i havet under reducerende betingelser og i nærvær af stor mængde organisk materiale, kan calciumfosfat (*fosforit*) udfældes. Sådanne bjergarter kan indeholde op til 0,03 pct. uran. Det er ikke lykkedes at isolere uranminerale, og man mener derfor, at uran går ind i calciumfosfatet i stedet for den ret store calciumjon, samt at noget uran er adsorberet i organisk materiale.

Under tropiske himmelstrøg forvitrer fosforitaflejringer under dannelse af aluminiumfosfater. I denne forvitningszone sker der en koncentrering af uran.

e) *Uran i andre sedimenter*. Som eksempel vil vi nævne de store forekomster af uranminerale i Coloradoplateauet i U. S. A., hvor uran udvindes af ca. 20 geologiske formationer spændende i alder fra perm til kridttiden. Indtil 1952 udnyttedes kun *carnotit* og lignende minerale, men borer har vist, at disse sekundære dannelser mod dybet afløses af den langt mere værdifulde *begblende*. Uranminerale findes på sprækker og i porerum i sand- og grusaflejringer og er desuden i høj grad koncentreret i fossile træstammer og i asfaltkugler. Foruden uran findes vanadium og en hel række metaller i disse bjergarter.

Uranforekomsterne er „flynder-formede“, de opfattes som „fossile flodlejer“, og uranindholdet er særlig stort, hvor der er „sving“ på de gamle flodlejer, idet der netop på disse steder er ophobet træstammer. Uranindholdet er fra 0,1 til 0,5 pct., og de enkelte linser kan blive op til 1.000.000 tons store.

Oprindelsen af disse malme er omdiskuteret. Nogle mener, at de er aflejret sammen med de sedimente, som de nu findes i, andre - og vel de fleste - at de er dannet senere end sedimenterne, og at de er udskilt af det cirkulerende grundvand.

Lignende forekomster findes i gulddistriktet ved Witwatersrand i Sydafrika, hvor *begblende* findes sammen med *guld*.

Forekomsttyper af thorium

Thorium findes på pegmatitgange i form af *thoriumrig uraninit* (de thoriumholdige minerale kaldes *brøggerit* og *thorianit*), som *thoriumrig zircon* (kaldet *thorit*) samt som *monazit*. Monazit og zircon findes desuden som en underordnet bestanddel af



Grovkornet nefelinsyenit med eudialyt- (og steenstrupin-)rig pegmatit.

Foto: H. Sørensen

Hulen fremkom, da geologen K. J. V. Steenstrup i 1899 for Kryolith Mine og Handels Selskabet brød eudialytbjergarten med henblik på eventuel teknisk udnyttelse. (Den lille ø Kekertausak i fjorden Kangerdluarssuk syd for Tunugdliarfik).

mange bjergarter. Når bjergarterne forvitrer, kan der dannes betydelige koncentrationer af de tunge og hårde thoriumminerale, og det er på den måde, at de store monazitaflejringer er opstået. Monazitsand er den vigtigste kilde for thorium og for de sjældne jordarters metaller.

Uranminerale kan også findes i sandaflejringer, når de gennem forvittringsprocesserne er blevet løsrevet fra de bjergarter, de sad i. Dette gælder niob- og tantalforbindelserne, der er hårde og tunge, sjældnere de forholdsvis letopløselige begblende, uraninit og uranglimmere.

Urans og thoriums geokemiske kredsløb

Som resumé af det ovenfor sagte kan det siges, at disse to stoffers kredsløb foregår i den aller øverste del af jordskorpen.

De „primære“ uran- og thoriumminerale fra dybbjergarter, pegmatit- og malmgange frigøres, når de omgivende bjergarter forvitrer, og kan, hvis de er hårde og tunge, blive aflejret sammen med sand og grus. Hvis de er mindre modstandsdygtige, opløses de og føres bort af grund- eller flodvand. Noget af det opløste uran afsættes i form af begblende og uranglimmere på sprækker og i hulrum i de af grundvandet gennemtrængte bjergarter, andet adsorberes af organisk materiale. Resten når ud i havet og afsættes først og fremmest i de sorte skifre og i fosforitlagene. Når disse sedimenter rammes af en bjergkædefoldning, kommer uranet ind i en ny cyklus, noget krystalliserer i dybbjergarter, andet drives til vejs og afsættes i pegmatiter og på malmgange, der igen forvitrer o. s. v.

Eftersøgning af radioaktive mineraler

De vigtigste eftersøgningsmetoder vil blive nævnt i det følgende:

a) GEOLOGISK-MINERALOGISK KORTLÆGNING. Under kortlægningsarbejdet holder geologen øje med de geologiske forhold, som man ved er knyttet til uran- og thoriumforekomster i andre områder.

b) GEOFYSISKE METODER. Man råder nu over metoder til at påvise radioaktive mineraler, selv hvor de ikke kan ses. Det klassiske instrument er *Geiger-Müller-tælleren*, hvis indretning er beskrevet i figuren p. 225. Denne tæller måler gamma- og undertiden også betastråler. De første typer tællere var tunge og uhåndterlige, men man kan nu få lette, robuste og billige tællere, som kan transporteres i en jakkelomme.

En anden type tællere - *scintillometrene* - har visse fordele fremfor den ovennævnte tæller, selv om de er mere skrøbelige og mere kostbare end denne.

Visere og tal i et ur bliver selvlysende ved at blive malet med en blanding af et radioaktivt stof og et stof, der kan bringes til at lyse (fluorescere), når det rammes af den radioaktive stråling. Dette er princippet i scintillometret, hvor gammastrålingen rammer et fluorescerende stof, hvorved der fremkommer en række glimt. Disse overføres til et tælleværk. Scintillometret er mere følsomt end geigertælleren og registrerer op til 100 pct. af gammastrålingen. Dertil kommer, at impulsernes størrelse er direkte proportional med energien af den målte stråling (geigertællerens enkelte impulser er lige store, hvad enten strålingen er kraftig eller svag).

Man kan ikke opdage dybtliggende forekomster med disse instrumenter, blot en halv meter kompakt bjergart kan skjule en rig uranmalm, idet gammastrålingen



*Måling med geigertællere på nordkysten af Tunugdliarfik.
I baggrunden fjeldet Nunasernaq.*

Foto: H. Sørensen

absorberes i bjergarten. Imidlertid er der næsten altid sprækker i fjeldets overflade, således at en del af strålingen får lejlighed til at trænge igennem. Også luft absorberer strålingen, og det er vanskeligt at opdage radioaktive forekomster på jorden fra blot en 3-400 meters højde.

Begge de nævnte typer af tællere kan monteres i biler eller i flyvemaskiner, hvorved man på kort tid kan få et groft billede af muligheden for at finde radioaktive mineraler i et bestemt område. Foretager man eftersøgningen fra luften, må der ikke flyves i større højder end 200 meter, og i mange tilfælde flyves der så lavt, som piloten tør, d. v. s. i ca. 20 meters højde. Dette kan kun gøres i fladt terræn, og radioaktivitetsundersøgelser fra luften har derfor begrænset betydning i store dele af Grønland, selv om de naturligvis vil give visse fingerpeg.

Man kan af og til blive snydt af sin tæller, idet den kan give kraftigt udslag på steder, hvor det er umuligt at opdage malm. Dette skyldes de radioaktive nedbrydningsprodukter, der i opløst form kan føres langt bort fra deres hjemsted.

c) GEOKEMISKE METODER. Ved at undersøge de løse jordlag i overdækkede områder og ved at undersøge grundvandet kan man få oplysninger om eventuelle forekomster af uran på større dyb.

Radioaktive mineraler i Grønland

Der foretages jorden over en intensiv eftersøgning efter radioaktive mineraler. Således er i U. S. A. mere end 500 geologer beskæftiget i dette arbejde. Desuden deltager talrige „søndagsjægere“ i jagten udstyret med billige geigertællere og opildnet og instrueret af den propaganda, som drives af staten. De fundne prøver kan blive gratis undersøgt. Det samme er tilfældet i England, hvor den Geologiske Undersøgelse i London modtager prøver til analyse fra alle dele af det britiske commonwealth. Resultatet er, at der årligt findes adskillige nye forekomster.

Lignende forhold råder i andre bjergværkslande. Man kunne nu spørge: Hvordan er det så i Grønland?

Grønlands Geologiske Undersøgelse (G. G. U.) har gennem de senere år haft opmærksomheden rettet mod forekomster af radioaktive mineraler, men de indtil nu gjorte fund har været beskedne.

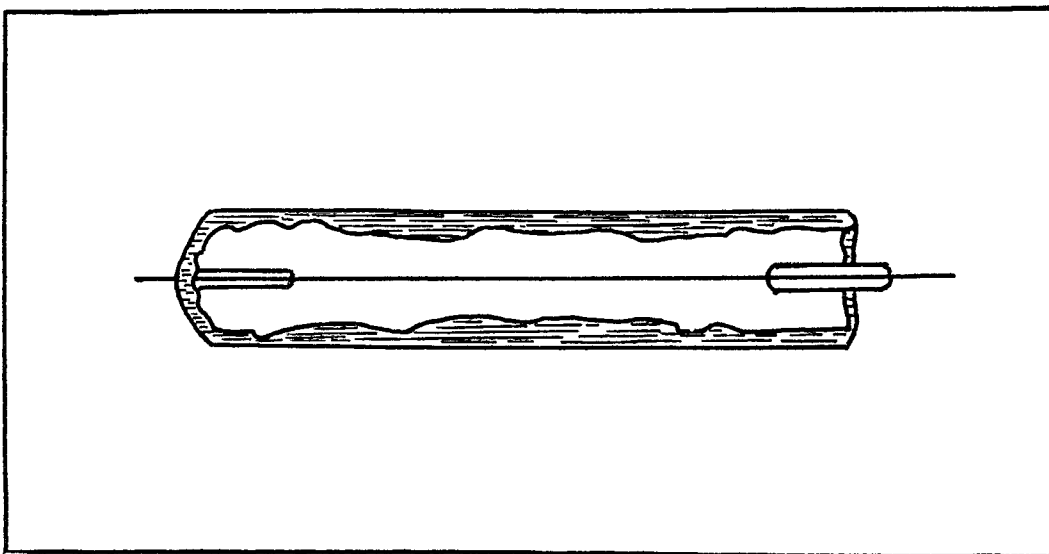
Hvad kan Grønland præstere med hensyn til de forekomsttyper, som blev omtalt i begyndelsen af denne artikel? Med hensyn til malmgange har man endnu ikke fundet nogen af den rigtige type. Pegmatitgange derimod er talrige, og mange af dem indeholder *allanit* i ret stor mængde. I visse områder - f. eks. i Qôrquut i Godthåbsfjorden - har man fundet granit med stor mængde allanit. Dette mineral er sort eller brunligt og har på friske brudflader ma~~t~~ begagtig glans. Det indeholder sjældne jordarter, thorium, beryllium med mere, men er ikke for øjeblikket af økonomisk interesse.

I pegmatiter i Julianehåb distrikt (omkring Sardlok) er mineralet *fergusonit* fundet i ringe mængde. Dette område er hidtil ret ufuldstændig undersøgt, og da man i den samme geologiske formation i Sydøstgrønland har fundet det med *fergusonit* beslægtede mineral *euxenit*, bør man sikkert kigge disse distrikter lidt nærmere efter. Begge disse mineraler er sorte, kraftigt skinnende på friske brudflader.

Monazit og *zircon* er som nævnt i en tidligere artikel i dette tidsskrift (juni 1954, pp. 215-223) fundet i pegmatiter i Sukkertoppen distrikt, men desværre kendes ingen sandforekomster.

De sorte *skifre*, der hidtil er undersøgt i Vestgrønland, viser ringe radioaktivitet.

I de sydvestgrønlandske *nefelinsyeniter* (cf. J. Bondam, „Grønland“, marts 1955, pp. 108-114) kendes et stort antal sjældne mineraler indeholdende grundstofferne niob, tantal samt de sjældne jordarters metaller. Især niobindholdet har været genstand for en vis opmærksomhed. Professor N. V. Ussing meddelte således i sin klassiske afhandling om dette områdes geologi, at en af nefelinsyenit-typerne *lujavrit* fra Nunasernaq i Tunugdliarfik indeholdt så meget som 0,45 pct. nioboxyd. Desuden vidste man fra gammel tid, at enkelte af mineralerne



Geiggerrør. Rørets tynde metal-væg (linieret) er åbnet, så man kan se ind i røret. Langs dettes akse er anbragt en metaltråd, der er elektrisk isoleret fra selve røret. Røret indeholder en luftart under lavt tryk. Sættes der elektrisk spænding på rør og tråd, vil der ikke kunne foregå selvstændig udladning, men passerer en ladet partikel røret, fremkommer et strømstød, der via en forstærker kan overføres til et tælleværk, således at man kan tælle antallet af partikler, der passerer røret i et givet tidsrum.

i nefelinsyeniterne indeholdt uran og thorium. En del af dette område blev undersøgt i 1955.

Resultaterne af sommerens arbejde bragte ikke geologerne større overraskelser. Det viste sig, at nefelinsyeniterne gennemgående var mere radioaktive end det omgivende grundfjeld, og at den mest radioaktive af de mange typer af nefelinsyenit var den ovennævnte niobholdige *lujavrit*. Radioaktiviteten er imidlertid forholdsvis ringe.

Større radioaktivitet fandtes i visse typer af pegmatitgange samt i sprække-mineralisering i nefelinsyeniterne; ofte kunne det vises, at der var foregået bevægelse langs sprækkerne. Årsagen til denne radioaktivitet er i alle de undersøgte tilfælde mineralet *steenstrupin* (opkaldt efter geologen K. J. V. Steenstrup, der i slutningen af forrige århundrede virkede netop i denne egn af Grønland). Dette sortebrune mineral, der er et silikat med ret kompliceret sammensætning, indeholder nogle få (2-7) pct. thoriumoxyd. De hidtil fundne forekomster er ret små.

Man kan sige, at resultaterne af de indtil nu foretagne undersøgelser er temmelig nedslående, men man skal dog ikke tabe modet af den grund. Det må understreges, at Grønland er meget stort i forhold til den indsats, der for øjeblikket gøres for at udforske dets natur og de deri gemte rigdomme. Som det er sagt

tidligere, kan geologerne alene ikke overkomme opgaven; det er nødvendigt at appellere til hele befolkningen om at bruge øjnene ude i naturen, hvor der er chancer for at finde mineralske råstoffer.

I den første del af denne artikel blev urans og thoriums forskellige forekomstmåder omtalt. Jeg skal her supplere disse oplysninger med nogle praktiske bemærkninger med hensyn til uraneftersøgning.

Det bedste hjælpemiddel er naturligvis tælleren, der nu fås i billige og lethåndterlige udgaver, men selv uden at være i besiddelse af en sådan kan man gøre et godt stykke arbejde i fjeldet.

Finder man brune eller sorte mineraler, der på frisk brudflade har mat begagtig eller måske sort antracitlignende glans, bør man tage en prøve med hjem. Det kan dreje sig om „kedelige“ mineraler som *turmalin* og *amfibol*, men disse mineraler har mere glasagtig glans og pænere krystallflader end de radioaktive mineraler. Det kan også være *magnetjærnsten*, hvilket let kan undersøges med et kompas eller med en magnet, men det kunne jo være *allanit*, *fergusonit* eller måske endog *begblende*. De sorte, glinsende radioaktive mineraler kan ofte i fjeldet kendes på, at de er omgivet af en farvet (eller i mørke mineraler af en affarvet) zone, hvilket skyldes omdannelser i de omgivende mineraler forårsaget af den radioaktive stråling.

Man bør også se efter *gule*, *orange* eller *grønne skorper* eller *pletter* på fjeldet. Sådanne pletter kan skyldes plantevækst, men kan også være mineraliske. Det gule er sandsynligvis *jærnsulfat*, men det kunne jo være *uranokker* eller *-glimmer*. Det grønne kan være mangfoldige ting, først og fremmest silikatmineraler som *epidot* (kornet) eller *klorit* (glinsende flager), det kan også være mere interessante ting som *kromglimmer* (små grønne skæl), *malakit* (det kobberkarbonat, der for eksempel kendes fra kobbertage) eller *nikkelblomst* (forvittringsprodukt af nikkelmalme). Endelig kunne det være en *uranglimmer*. Man bør derfor tage prøver af sådanne ting og omhyggeligt notere sig lokaliteterne, det kunne jo dreje sig om værdifulde forekomster.

Endelig bør der tages prøver af sorte skifre samt af *sand*, hvis det indeholder en større mængde røde korn. De røde vil i de fleste tilfælde være det på dette sted værdiløse mineral *granat*, men det kunne jo være *monazit* eller *zircon*.

Prøverne kan sendes til Grønlands Geologiske Undersøgelse i København, og interesserede henvises også til de udstillinger af radioaktive mineraler, der findes på Mineralogisk Museum.